

УДК 676.012.1-50

В.П. Сиваков, Т.В. Загребина, Е.Г. Кучумов  
(V.P. Sivakov, T.V. Zagrebina, E.G. Kuchumov)  
УГЛТУ, Екатеринбург  
(USFEU, Ekaterinburg)

**МЕСТНЫЕ КОЛЕБАНИЯ И НАПРЯЖЕНИЯ В СТЕНКАХ  
ВАРОЧНОГО КОТЛА НА ОПОРАХ СТОЕК**  
(LOCAL FLUCTUATIONS AND VOLTAGE IN THE WALLS OF THE  
BOILER ONTO THE SUPPORT RACKS AIRBAG)

*От динамических сил в местах опор возбуждаются колебания обечайки котла. Получена формула для расчета собственных частот колебаний обечайки котла под опорой.*

*From dynamic forces in ground poles are excited oscillations of the boiler shell. Received the formula for calculating natural frequencies fluctuations of the sidewall of the boiler under the building.*

Корпуса варочных котлов опираются на стойки рамы (рисунок). Толщина стенки лапы, контактирующей с обечайкой котла, в 1,7...2,0 раза больше толщины обечайки аппарата.

Обечайку можно рассматривать как гибкую тонкостенную оболочку, опирающуюся на недеформируемую жесткую лапу. Лапы привариваются к нижней сфере или нижнему конусу котла.

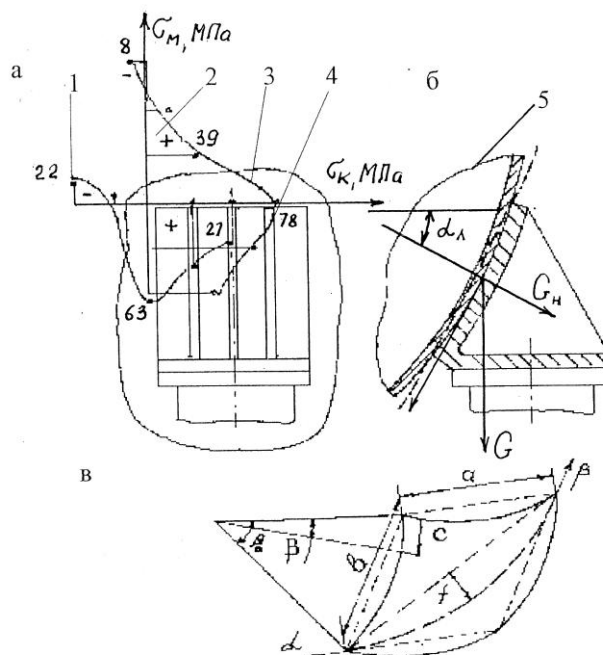
В стенках котлов на участках присоединения лап возникают местные напряжения, значительно превышающие напряжения на других участках котлов. Кроме того, приваренные лапы являются концентраторами напряжений.

При исследовании напряженного состояния стенок в местах опирания [1, 2] в переходных режимах работы котлов обнаружены высокочастотные колебания.

Переходные режимы в котлах обусловлены изменением массы загружаемого сырья, давления и температуры. В ряде случаев за короткий промежуток времени эти параметры изменяются в 6..10 раз, например, при выдудке массы из котлов по окончании варки целлюлозы.

При измерении напряжений тензорезисторы крепились контактной сваркой к обечайке котла с ориентацией в кольцевой и меридиональной плоскостях опор (рисунок, а). Напряжения регистрировались на каждом этапе изменения технологического режима варки за весь ее цикл. При загрузке котла щепой и варочным раствором происходит увеличение уровня сжимающих напряжений около опоры (рисунок, б) По мере удаления от опоры напряжения сжатия снижаются, а затем становятся растягивающими. На внутренней поверхности обечайки по периметру опорной лапы

возникают растягивающие напряжения. Обечайка деформируется, соединение обечайки и лапы приобретает форму, показанную на рис., б (штриховая линия).



Схемы участка корпуса над опорой:

а - эпюры напряжений; б - формы изменения кривизны; в - фрагмент сферической оболочки; 1 - эпюра меридиональных напряжений; 2 - то же кольцевых напряжений; 3 - участок корпуса; 4 - опорная лапа; 5 - линия деформации обечайки

В переходных режимах работы аппарата (выдувка массы, перепуск варочного раствора, сдвук парогазовой смеси, подъем давления) отмечена вибрация в местах опорных лап в октавных полосах частот со среднегеометрическими частотами 1000...2000 Гц. В сферической обечайке от действия внешних динамических сил возбуждаются колебания на собственных частотах. Для исследования собственных колебаний обечайку под опорной лапой (рис 1.1в) можно рассматривать как сегмент сферической оболочки, опирающейся по периметру сварного шва. Для тонкостенных обечаек жесткость в срединной плоскости больше жесткости в направлении нормали [3]. По этой причине рассматриваются только изгибные колебания оболочки

$$X=Y=0; \quad Z = \rho S \frac{\partial^2 \omega}{\partial t^2}, \quad (1)$$

где  $X, Y$  – тангенциальные составляющие давления от сил инерции в срединной поверхности оболочки;  $Z$  - нормальная составляющая сил инерции;  $\omega$  - прогиб оболочки по нормали;  $S, \rho$  - толщина и плотность материала оболочки.

Рассмотрим гармонические колебания оболочки, при которых прогиб может быть представлен в виде

$$\omega = \omega(x, y) \sin \omega t. \quad (2)$$

Поперечные колебания пологих оболочек исследованы в (3) и описываются следующими уравнениями:

$$D \nabla^4 \omega + \nabla_k^2 \varphi + \rho S \frac{\partial^2 \omega}{\partial t^2} - q = 0; \quad (3)$$

$$\frac{1}{ES} \nabla^4 \varphi + \nabla_k^2 \omega = 0, \quad (4)$$

где  $D$  – определитель устойчивости;  $\nabla^4, \nabla_k^2$  – операторы;  $\varphi$  – функция напряжения;  $k$  – кривизна поверхности оболочки;  $q$  – фиксированная поперечная нагрузка на направление нормали к изогнутой поверхности оболочки.

Для тонкостенной оболочки приближенно можно принять [2, 4]

$$D = ES^3 / [12(1 - \mu^2)]. \quad (5)$$

Для малых прогибов операторы имеют вид:

$$\nabla^4 = \frac{\partial^4}{\partial \alpha^4} + 2 \frac{\partial^4}{\partial \alpha^2 \partial \beta^2} + \frac{\partial^4}{\partial \beta^4}; \quad (6)$$

$$\nabla_k^2 = \frac{\partial}{\partial \alpha} \left( k_1 \frac{\partial}{\partial \alpha} \right) + \frac{\partial}{\partial \beta} \left( k_2 \frac{\partial}{\partial \beta} \right), \quad (7)$$

где  $k_1, k_2$  – кривизна поверхностей оболочки в направлениях соответственно  $\alpha$  и  $\beta$ ;  $\alpha, \beta$  – координатные линии соответственно вдоль меридиональной и кольцевой кривизны оболочки.

При  $q=0$  из уравнений (3) и (4) определяются собственные частоты оболочки.

Решение уравнений (3) и (4) для первого тона собственных колебаний, шарнирно опирающегося по периметру фрагмента сферической оболочки, имеет вид (1, 2),  $c^{-1}$ :

$$\omega_{mn} = \sqrt{\frac{1}{\rho S} \left[ D(\lambda_n^2 + \lambda_m^2)^2 + \frac{ES}{R^2} \right]}, \quad (8)$$

где  $\lambda_n = n\pi/a$ ;  $\lambda_m = m\pi/b$ ;  $a, b$  – размеры лапы;  $R$  – радиус сферы.

При  $m=n=1$   $\lambda_n = 1\pi/a$ ;  $\lambda_m = 1\pi/b$ .

Например, для котла КВС и-320 при  $\rho=7,85 \cdot 10^3$  кг/м<sup>3</sup>;  $S=2,7 \cdot 10^{-2}$  м,  $E=2,1 \cdot 10^{11}$  Н/м<sup>2</sup>;  $R=3$  м;  $\mu=0,3$ ;  $a=0,72$  м;  $b=0,92$  м по (8) имеем  $\omega_{mn} = 2140$  Гц.

#### Библиографический список

1. Сиваков В.П., Кучумов Е.Г., Музыкантова В.И., Загребина Т.В. Исследование местных напряжений а обечайке варочного котла под

опорами // Машины и аппараты целлюлозно-бумажного производства: межвуз. сб. науч. тр. С.-Пб.: СПбГТУРП, 1998. С. 95-99.

2. Сиваков В.П., Кучумов Е.Г., Музыкантова В.И., Загребина Т.В. Собственные колебания обечаек варочных котлов под опорами // Машины и аппараты целлюлозно-бумажного производства: межвуз. сб. науч. тр. С.-Пб.: СПбГТУРП, 1998. С. 76-80.

3. Безухов Н.И., Лужин О.В., Колкунов Н.В. Устойчивость и динамика сооружений в примерах и задачах. – М.: Машиностроение, 1978. – 352 с.

4. Сиваков В.П. Свободные колебания тонкостенных аппаратов в местах опирания на стойки фундамента // Виброакустические процессы в технологиях, оборудовании и сооружениях отраслей лесопромышленного комплекса: материалы науч.-техн. семинара. Екатеринбург: УГЛТА, 1999. С. 109-115.

УДК 676.012.1-50

В.П. Сиваков, О.Б. Пушкарева  
(V.P. Sivakov, O.B. Pushkareva)  
УГЛТУ, Екатеринбург  
(USFEU, Ekaterinburg)

**ВЛИЯНИЕ ЦИКЛИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ  
ВНЕШНЕЙ НАГРУЗКИ НА ОБОЛОЧЕЧНЫЕ  
ОСЕСИММЕТРИЧНЫЕ КОЛЕБАНИЯ КОТЛОВ**  
(INFLUENCE OF CYCLIC CHANGES IN EXTERNAL LOAD  
ON THE CLADDING VAPOR VARIATIONS OF BOILERS)

*Исследованы оболочечные осесимметричные колебания котлов от изменений температуры и давления. Получены расчетные уравнения и графики для определения собственных частот оболочечных колебаний котлов.*

*Shell-like vapor variations are investigated boilers from changes in temperature and pressure. Received equalizations and graphs for determination of natural frequencies of shell boilers fluctuations.*

При периодической варке целлюлозы циклически изменяются давление и температура. Циклы изменения этих параметров обусловлены графиком варки и занимают по времени 10...120 мин. Более короткую